Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 10, No. 1, 2019, p. 114-125 (Research Article)
DOI: 10.22067/ijpr.v10i1.64836

پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد۱۰ شمارهٔ۱، نیمهٔ اوّل ۱۳۹۸، صفحهٔ ۱۲۵-۱۱۴
نوع مقاله: پژوهشی

اثر تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک ارقام لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris* L.)

سمیه قلندری[1]، محمد کافی[2*]، مرتضی گلدانی[3] و علیرضا باقری[4]

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
somaye.ghalandari@yahoo.com
۲- استاد گروه اگروتکنولوژی دانشکدهٔ کشاورزی و عضو هیئت علمی پیوستهٔ گروه بقولات پژوهشکدهٔ علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۳- دانشیار گروه اگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران، goldani@um.ac.ir
۴- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اقلید، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۲۳

چکیده

کم‌آبی امروزه از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد محصولات زراعی در نواحی خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و کاهش رشد در اثر تنش خشکی به مراتب بیشتر از سایر تنش‌های محیطی است. به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر ارقام لوبیا آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه گروه زراعت دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی در این آزمایش، رژیم رطوبتی در سه سطح (تأمین ۱۰۰درصد، ۷۵درصد و ۵۰درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب نشان‌دهنده تیمار شاهد، تنش خشکی ملایم و تنش خشکی شدید) و سه رقم لوبیاچیتی شامل تلاش، خمین و صالح بودند. نتایج نشان داد اثر تیمار آبیاری و رقم بر ارتفاع بوته، وزن شاخساره، وزن ریشه، نسبت ریشه به شاخساره، محتوای آب نسبی، نشت الکترولیت‌ها، هدایت روزنه‌ای، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود. بیشترین وزن شاخساره و ریشه در بین رژیم‌های آبیاری از تیمار شاهد و از رقم تلاش به‌دست آمد. با کاهش مقدار آب مصرفی، در مرحله زایشی کلروفیل نیز کاهش یافت، به گونه‌ای که بیشترین مقدار کلروفیل در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد. در بین ارقام نیز بیشترین میزان کلروفیل در رقم صالح مشاهده شد. محتوای آب نسبی در شرایط تنش خشکی متوسط ۹/۹درصد و در شرایط تنش خشکی شدید ۳۰/۷درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد. در بین ارقام نیز بیشترین مقدار آب نسبی در رقم صالح ثبت شد. کاهش میزان آب برگ همبستگی مستقیم با افزایش نشت الکترولیت‌ها داشت، به نحوی که در شرایط تنش خشکی متوسط نشت الکترولیت‌های غشاء، ۲۴درصد و در شرایط تنش خشکی شدید ۳۷درصد بود. کمترین میزان نشت در بین ارقام در رقم صالح مشاهده شد. کاهش مقدار آبیاری باعث شد هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی متوسط و شدید به‌ترتیب ۳۳/۳درصد و ۵۳/۳درصد نسبت به شاهدکاهش یابد. رقم صالح در بین ارقام و آبیاری کامل در بین رژیم‌های آبیاری، بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. کاهش آب مصرفی باعث شد عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی متوسط و شدید به‌ترتیب ۳۶/۱درصد و ۷۱/۶درصد نسبت به تیمار بدون تنش خشکی کاهش یابد. رقم صالح از نظر صفاتی از جمله عملکرد دانه، محتوای آب نسبی، کلروفیل و هدایت روزنه‌ای نسبت به دو رقم دیگر برتری نشان داد. همچنین نشت الکترولیت‌ها نیز در این رقم کمتر از سایر ارقام بود و به نظر می‌رسد تحمل بیشتری به تنش خشکی داشته باشد.

کلمات کلیدی: کم‌آبیاری، محتوای آب نسبی، نشت الکترولیت، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

لوبیا یکی از مهم‌ترین حبوبات در دنیا محسوب می شود (Broughton *et al*. 2003) که دارای ۲۵-۲۰درصد پروتئین و ۵۶-۵۰درصد کربوهیدرات است. سطح زیرکشت جهانی آن بالغ بر ۲۷میلیون هکتار بوده که با عملکردی معادل ۵۶۸کیلوگرم در هکتار مجموعا ۱۵/۵میلیون تن تولید دارد (FAOSTAT, 2015). درکشور ما لوبیا با تولید سالانه حدود ۲۰۰هزار تن، سطح زیرکشت سالانه حدود ۱۰۰هزارهکتار و متوسط عملکرد ۲۰۰۰کیلوگرم در هکتار (FAO STAT, 2015، میانگین ۱۰ساله)، تأمین‌کننده بخش مهمی از پروتئین مورد نیازجمعیت کشور است. حدود ۱۳درصد زمین‌های

*نویسنده مسئول: m.kafi@um.ac.ir

زیرکشت حبوبات و ۴۱درصد تولید سالانه حبوبات کشور متعلق به لوبیا می‌باشد (Agriculture Statistic, 2015).

کم‌آبی امروزه یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده ازدیاد محصول در نواحی خشک و نیمه‌خشک می باشد و کاهش رشد در اثر تنش خشکی به مراتب بیشتر از سایر تنش های محیطی دیگر است (Kafi & Mahdavi Damghani, 2007; Rodriguez, 2006). با توجه به وسعت نگران‌کننده مناطق خشک و نیمه‌خشک در ایران (۹۰درصد کل مساحت کشور) و همچنین کاهش دسترسی به منابع آب، نیاز به تمهیدات مناسبی برای استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی است. استفاده از رژیم های کم‌آبیاری با صرفه‌جویی در مصرف آب می تواند به عنوان یک راهبرد مناسب در افزایش سطح زیرکشت و اصلاح الگوی کشت باشد (Jalilian *et al*., 2001).

کمبود آب از طریق ایجاد تغییرات آناتومیک، مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بر جنبه‌های مختلف رشد و نمو و پتانسیل عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارد (Chaves *et al*., 2009). در شرایط کمبود آب، نخست فرآیند بسته‌شدن روزنه‌ها به منظور ممانعت از اتلاف آب صورت می‌پذیرد (Lawlor *et al*., 2002) که به دنبال آن کاهش تثبیت دی اکسیدکربن و افزایش دمای کانوپی روی می‌دهد. سپس کاهش در محتوای آب نسبی برگ‌ها و افزایش در میزان نشت الکترولیت‌های غشای سلولی مشاهده می‌شود (Aown *et al*., 2012).

مشخص شده است که در اثر تنش خشکی ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی در لوبیا کاهش می‌یابد (Emadi *et al*., 2012). Ramirez & Kelly (1998) گزارش کردند که وزن و قطر ساقه لوبیا در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد. تحت تنش خشکی، غشاء سلولی پایداری خود را از دست داده و در صورت قرارگرفتن برگ در یک محیط آبی، مواد محلول از سلول‌های آن تراوش می‌یابد، لذا پایداری غشاء به‌وسیله ارزیابی تراوش یون‌ها از آن تعیین می‌شود (Sairam *et al*., 2002).

در شرایط کمبود آب، میزان آب برگ در اثر تنش خشکی کاهش یافته و کاهش پتانسیل آب برگ باعث بسته‌شدن روزنه و در نتیجه کاهش هدایت روزنه‌ای می‌گردد که این امر به نوبه خود باعث کاهش فراهمی دی‌اکسید کربن و در نتیجه کاهش سرعت فتوسنتز و متعاقبا کاهش رشد می‌شود (Bota *et al*., 2004). یکی از راه‌کارهای پیشگیری از صدمات ناشی از کمبود آب در گیاهان بستن روزنه‌ها می‌باشد (Pastenes *et al*. 2005). نتایج مقایسه دو ژنوتیپ لوبیا در شرایط تنش و عدم تنش آب نشان داد کمبود آب باعث کاهش هدایت روزنه‌ای در هر دو ژنوتیپ شد، ولی شدت کاهش یکسان نبود (Rosales *et al*., 2012). Karimzadeh *et al*., (2016) گزارش کردند کم‌آبیاری باعث کاهش هدایت روزنه‌ای ژنوتیپ‌های لوبیاچیتی شد. آن‌ها بیان کردند درصد کاهش هدایت روزنه‌ای در ژنوتیپ‌های مورد بررسی یکسان نبود. با توجه به مطالب بیان شده آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر پارامترهای مختلف مورفولوژیک و فیزیولوژیک سه رقم لوبیا انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور انتخاب بهترین رقم لوبیا در سطوح مختلف تنش خشکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. عامل اول آبیاری در سه سطح شامل شاهد (رطوبت در حد ظرفیت زراعی)، تنش ملایم (۷۵درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید (۵۰درصد ظرفیت زراعی) و عامل دوم سه رقم لوبیا شامل تلاش، خمین و صالح درنظرگرفته شد. اعمال تیمارهای آبیاری از مرحله سه‌برگی شروع شد و تا آخر دوره رشد ادامه داشت. آزمایش در گلخانه شیشه‌ای با دمای ۳۵-۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵-۶۰درصد اجرا شد. در هر تکرار برای هر تیمار دو گلدان استوانه ای با قطر دهانه ۲۰ و ارتفاع ۳۰سانتی‌متر و حاوی ۱۰کیلوگرم خاک لومی و در هر گلدان پنج بذر با فواصل یکسان به صورت سطحی کشت شد و پس از آن در همه گلدان ها در حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند. برای تعیین میزان آب مورد نیاز هر گلدان در هر بار آبیاری در ابتدای آزمایش ظرفیت زراعی خاک مورد نظر مشخص شد. برای این کار پنج گلدان با وزن و اندازه یکسان انتخاب و درون هر کدام به میزان مساوی از خاک تهیه شده برای آزمایش پر شد و به اندازه کافی با آب اشباع شده و در زیر نایلون قرار داده شد که فقط آب از طریق ثقلی خارج گردد و هر ۸ساعت وزن آن‌ها یادداشت شد و زمانی که منحنی خروج آب ثابت شد، با توزین گلدان ها میزان آب در ظرفیت زراعی مشخص شد و دو سطح دیگر تنش بر مبنای درصدی از ظرفیت زراعی اعمال گردید.

پس از سبزشدن و استقرار کامل بوته‌ها، تعداد دو بوته در هرگلدان را باقی گذاشته شده و بقیه حذف شدند. یک گلدان برای نمونه‌گیری‌های تخریبی و گلدان دیگر برای اندازه‌گیری عملکرد درنظرگرفته شد. پس از اعمال تیمارها، در مرحله زایشی صفاتی مانند محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت‌ها (Valentovic *et al*., 2006) و هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری فتوسنتز (LCA4) با استفاده از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته اندازه‌گیری شد.

جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (Smart & Bingham, 1974)، از طریق برداشت پنج حلقه برگی از جوان‌ترین برگ توسعه‌یافته بوته‌ها استفاده شد؛ به‌طوری‌که بعد از توزین وزن تر، دیسک‌های برگی در آب مقطر به مدت ۱۲ساعت در دمای اتاق (۲۵درجه سلسیوس) و شرایط تاریک اشباع و سپس توزین شد و نمونه‌های توزین‌شده در آون در دمای ۸۵درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ساعت قرار گرفته و وزن‌خشک آن‌ها تعیین شد. محتوای نسبی آب برگ طبق رابطه۱ به‌دست آمد (*Rosales* et al., 2012):

(۱)

۱۰۰×(وزن‌خشک-وزن اشباع / وزن‌خشک-وزن تر)= محتوای آب نسبی

برای اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌ها از روش (2006) Valentovic استفاده شد. برای این منظور ابتدا از هر گلدان پنج دیسک برگی از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته تهیه و سپس نمونه‌های برگ با آب مقطر شستشو شد و در ویال حاوی ۵۰میلی‌لیتر آب دوبارتقطیرشده قرار گرفت. ویال‌ها به مدت ۲۴ساعت در دمای آزمایشگاه قرار گرفته و سپس هدایت الکتریکی هر نمونه با استفاده از دستگاه ECمتر مدل Genway اندازه‌گیری شد (EC1). برای اندازه‌گیری نشت کامل الکترولیت‌ها در اثر مرگ سلول، ویال‌ها در اتوکلاو با دمای ۱۱۰درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۲بار به مدت ۲۰دقیقه قرار گرفته و پس از ۲۴ساعت هدایت الکتریکی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (EC2). سپس با استفاده از رابطه۲ درصد نشت الکترولیت‌های هر تیمار محاسبه شد (Sairam, 1994):

EC= (EC1/EC2)*100 (۲)

میزان سبزینگی نسبی نیز یک بار در مرحله قبل از گلدهی (R5) و یک بار در مرحله پُرشدن غلاف (R8) با استفاده از دستگاه اسپد مدلMinolta-502 به‌صورت غیرتخریبی اندازه‌گیری شد. ارتفاع بوته، وزن شاخساره و وزن ریشه نیز اندازه‌گیری شد. پس از رسیدگی، بوته‌ها برداشت شده و در آون در دمای ۷۰درجه سلسیوس به مدت ۴۸ساعت قرار گرفت و سپس وزن کل بوته و وزن دانه‌ها اندازه‌گیری شد.

در پایان، داده‌های حاصل پس از انجام آزمون نرمال‌بودن داده‌ها تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزارSAS و مقایسات میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج‌درصد با استفاده از نرم‌افزار MSTATC صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر آبیاری در سطح احتمال یک‌درصد و اثر رقم در سطح احتمال پنج‌درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار است (جدول ۱). در بین رژیم‌های آبیاری، بیشترین ارتفاع بوته در شرایط بدون تنش خشکی (شاهد) و در بین ارقام مورد بررسی بیشترین ارتفاع بوته در رقم تلاش، ثبت شد (جدول ۲). در شرایط تنش خشکی متوسط و شدید، ارتفاع بوته به‌ترتیب ۸درصد و ۲۱/۴درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد. تفاوت بین ارتفاع بوته ارقام لوبیا توسط Hashemi Jazi & Danesh (2004) نیز گزارش شده است. تنش خشکی عاملی محدودکننده و مهم در فاز ابتدایی رشد و استقرار گیاه است. فرایند رشد و نمو شامل تقسیم سلول، طویل‌شدن سلول‌ها و تمایز است و این مراحل به‌علت وابستگی آن‌ها به فشار آماس، به کمبود آب بسیار حساس هستند (Sikuku *et al*., 2010). نتایج نشان داد قطر ساقه تحت تأثیر آبیاری و رقم قرار نگرفت (جدول ۱).

اثر آبیاری و رقم بر وزن شاخساره و ریشه در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین وزن شاخساره و ریشه در بین رژیم‌های آبیاری از تیمار شاهد و در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از ژنوتیپ تلاش به‌دست آمد (جدول ۲). وزن شاخساره در شرایط تنش خشکی متوسط و شدید به‌ترتیب ۳۰/۱درصد و ۷۰/۱درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد. همچنین وزن ریشه نیز در شرایط تنش خشکی متوسط و شدید به‌ترتیب ۴۸/۹درصد و ۷۳/۸درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد. پژوهش‌گران گزارش کردند که با افزایش شدت تنش خشکی، وزن‌خشک اندام هوایی لوبیا به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Rasti Sani *et al*., 2014). احتمالاً کاهش فتوسنتز، افزایش مواد بازدارنده رشد و کاهش هورمون‌ها (اکسین و سیتوکینین) در تنش خشکی از جمله عواملی است که رشد وزن‌خشک اندام هوایی را کاهش می‌دهد (Hayat & Ahmad, 2007). کاهش وزن ماده خشک به دلیل کاهش رشد گیاه و پیری و ریزش برگ‌ها می‌باشد (Bhatt & Srinivasa, 2005). پژوهش‌گران در بررسی اثر کمبود آب بر مورفولوژی و فیزیولوژی سه رقم برنج تحت شرایط دیم دریافتند که اندازه ریشه با کاهش محتوی آب خاک کاهش یافت (Sikuku *et al*., 2010). آن‌ها مشاهده کردند که با افزایش کمبود آب وزن‌خشک و طول ریشه برنج کاهش یافت.

نتایج نشان داد اثر آبیاری و برهمکنش آبیاری×رقم بر نسبت ریشه به شاخساره معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین نسبت ریشه به شاخساره در رقم خمین و در شرایط تنش خشکی شدید مشاهده شد، در حالی که کمترین نسبت ریشه به شاخساره از رقم صالح در شرایط تنش خشکی شدید به‌دست آمد (شکل ۱). در شرایط تنش خشکی متوسط نسبت ریشه به

شاخساره در رقم‌های صالح و تلاش به‌ترتیب ۳۶/۱درصد و ۲۸/۹درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت، در حالی که این نسبت در رقم خمین در شرایط تنش خشکی متوسط تغییری نشان نداد. در شرایط تنش خشکی شدید نیز واکنش ارقام از نظر نسبت ریشه به شاخساره یکسان نبود، به گونه‌ای که این نسبت در رقم صالح کاهش (۴۲/۵درصد) و در ارقام تلاش و خمین افزایش یافت (به‌ترتیب ۸۳درصد و ۲۵/۱درصد). پژوهش‌گران در بررسی دو ژنوتیپ لوبیا در شرایط تنش خشکی گزارش کردند که با افزایش سطح تنش خشکی، نسبت وزنی ریشه به شاخساره در هردو ژنوتیپ افزایش یافت (Rasti Sani *et al*., 2014). نسبت بالاتر ریشه به اندام هوایی (اندام جذب کننده آب نسبت به اندام مصرف‌کننده آب) توان گیاه را برای افزایش تحمل به خشکی بهبود می‌بخشد (Ganjeali & Bagheri, 2011).

جدول ۱- تجزیه واریانس ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن شاخساره، وزن ریشه و نسبت ریشه به شاخساره ارقام لوبیاچیتی در رژیم‌های آبیاری

Table 1. Analysis of variance for height, shoot and root weight and root/shot ratio of bean cultivars in irrigation regimes

منابع تغییر	SOV	درجه آزادی DF	ارتفاع Height	قطر ساقه Stem diameter	وزن شاخساره Shoot weight	وزن ریشه Root weight	نسبت ریشه به شاخساره Root/Shoot weight
آبیاری	Irrigation (I)	2	575**	0.14ns	12**	0.5**	0.04*
رقم	Cultivar (C)	2	359*	0.13ns	3.3**	0.09**	0.01ns
آبیاری×رقم	I*C	4	96ns	0.26ns	0.23ns	0.01ns	0.03*
خطا	Error	18	61	0.2	0.11	0.005	0.009
ضریب تغییرات	CV (%)		11.7	11.1	15.6	10.7	14.3

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک‌درصد

ns,* and **: Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

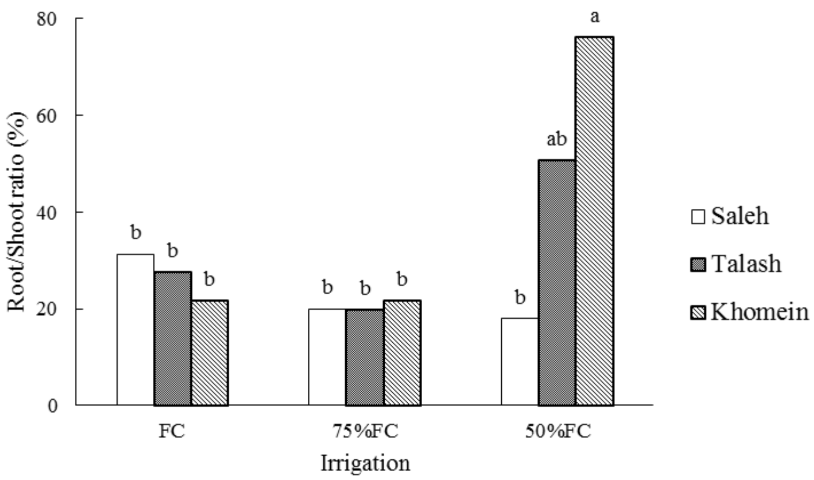
جدول ۲- میانگین ارتفاع بوته، وزن شاخساره و وزن ریشه در رژیم‌های مختلف آبیاری و ارقام لوبیاچیتی

Table 2. Means of height, shoot and root of bean cultivars and irrigation regimes

صفات	Traits	آبیاری Irrigation			رقم Cultivar		
		FC	75%FC	50%FC	Saleh	Talash	Khomein
ارتفاع (سانتی‌متر)	Height (cm)	74.1a	68.2b	58.3c	69.1b	71.8a	59.7c
وزن شاخساره (گرم در بوته)	Shoot weight (g/plant)	3.29a	2.30b	0.98c	2.84a	2.11b	1.63c
وزن ریشه (گرم در بوته)	Root weight (g/plant)	0.904a	0.462b	0.237c	0.704a	0.516b	0.383b

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ردیف اختلاف معنی‌داری ندارند (LSD=0.05).

Means with the same letters in each row are not significantly different, using LSD, p≤0.05.



شکل ۱- نسبت ریشه به شاخساره (درصد) ارقام لوبیاچیتی در رژیم‌های آبیاری

میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌داری ندارند (LSD=0.05).

Fig. 1. Root/shoot ratio of bean cultivars in irrigation regimes

Means with the same letters are not significantly different, using LSD, p≤0.05.

اثر آبیاری و رقم در مرحله رشد زایشی بر محتوی نسبی کلروفیل در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با کاهش مقدار آب مصرفی در مرحله زایشی کلروفیل نیز کاهش یافت، به گونه‌ای که بیشترین مقدار کلروفیل در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد. در بین ارقام نیز بیشترین میزان کلروفیل در رقم صالح مشاهده شد که با رقم تلاش از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). نتایج نشان داد در شرایط تنش خشکی متوسط و شدید کلروفیل در مرحله زایشی به‌ترتیب ۱۲/۴درصد و ۳۱/۳درصد کاهش داشت.

اثر آبیاری در سطح احتمال یک‌درصد و اثر رقم در سطح احتمال پنج‌درصد بر محتوای آب نسبی برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). در بین رژیم‌های آبیاری بیشترین محتوای آب نسبی برگ در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد. در بین ارقام نیز بیشترین میزان محتوای آب نسبی در رقم صالح مشاهده شد که با رقم تلاش از نظر آماری در یک گروه قرار داشت (جدول ۴). محتوای آب نسبی برگ در شرایط تنش خشکی متوسط ۹/۹درصد و در شرایط تنش خشکی شدید ۳۰/۷درصد کاهش نشان داد. مقدار نسبی آب برگ به‌طور مستقیم با آماس یاخته و پتانسیل آب گیاه ارتباط دارد. از طرف دیگر آماس برگ، در ارتباط مستقیم با توسعه و تقسیم سلولی است و بدین ترتیب ارتباطی بین میزان نسبی آب برگ و ماده خشک تولیدی وجود دارد (Yadav & Bhushan, 2001). در بررسی‌های انجام شده مشخص شده است که معمولاً، ولی نه همیشه، ارقام مقاوم به خشکی از RWC بالاتری در شرایط تنش خشکی برخوردار هستند (Schonfeld *et al*., 1988). محققان بیان کردند که کمبود آب به‌طور آشکاری محتوای آب نسبی را در برگ‌های لوبیا کاهش می‌هد (Turkan *et al*., 2005). در مطالعه اثر تنش کمبود آب بر گیاه عدس، کاهش محتوای آب نسبی برگ به‌دنبال کمبود آب گزارش شد (Salehpour *et al*., 2009).

اثر آبیاری و رقم بر نشت الکترولیت‌ها در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). کاهش میزان آب باعث افزایش نشت الکترولیت‌ها شد، به نحوی که در شرایط تنش خشکی متوسط نشت الکترولیت‌ها ۲۴/۷درصد و در شرایط تنش خشکی شدید ۳۷درصد افزایش نشان داد. کمترین میزان نشت در بین ارقام در رقم صالح مشاهده شد (جدول ۴). تنش خشکی از طریق افزایش تولید مواد تخریب‌کننده غشاء مانند پراکسید هیدروژن باعث تخریب غشاء سلولی شده و در نتیجه نشت الکترولیت‌ها افزایش می‌یابد. افزایش پراکسیداسیون چربی و به دنبال آن کاهش پایداری غشاء و افزایش نشت الکترولیت‌ها در گندم (Sairam & Saxena, 2000) لوبیا (Turkan *et al*, 2005) و عدس (Salehpour *et al*., 2009) گزارش شده است.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر آبیاری و رقم بر هدایت روزنه‌ای در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). کاهش میزان آب آبیاری باعث کاهش هدایت روزنه‌ای شد (شکل ۲) به گونه‌ای که بیشترین هدایت روزنه‌ای در شرایط آبیاری شاهد بدست آمد و کاهش مقدار آبیاری باعث شد هدایت روزنه در شرایط تنش خشکی متوسط و شدید به‌ترتیب ۳۳/۳درصد و ۵۳/۳درصد کاهش یابد. در بین ارقام بیشترین هدایت روزنه‌ای در رقم صالح مشاهده شد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با رقم تلاش نشان نداد.

جدول ۳- تجزیه واریانس کلروفیل، محتوای آب نسبی، نشت الکترولیت و هدایت روزنه‌ای ارقام لوبیاچیتی در رژیم‌های آبیاری

Table 3. Analysis of variance of chlorophyll, RWC, electron leakage and stomatal of bean cultivars in irrigation regimes

منابع تغییر	S.O.V	درجه آزادی DF	کلروفیل در مرحله قبل از گلدهی Chlorophyll at before flowering	کلروفیل در مرحله پُرشدن غلاف Chlorophyll at pod filling stage	محتوای آب نسبی RWC	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
آبیاری	Irrigation (I)	2	32.4ns	240.6**	1343**	1407**	163**	43.5**	114.5**
رقم	Cultivar (C)	2	5.9ns	31.7**	364*	144**	19**	8.3**	12.3**
آبیاری×رقم	I*C	4	0.22ns	3.1ns	25.8ns	25.2ns	0.41ns	0.1ns	12**
خطا	Error	18	26.9	5.8	32.8	22.1	3.2	0.2	1.1
ضریب تغییرات	CV (%)		18.7	8.6	8.5	5.8	15.8	12.5	8.2

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک‌درصد

ns,* and **: Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

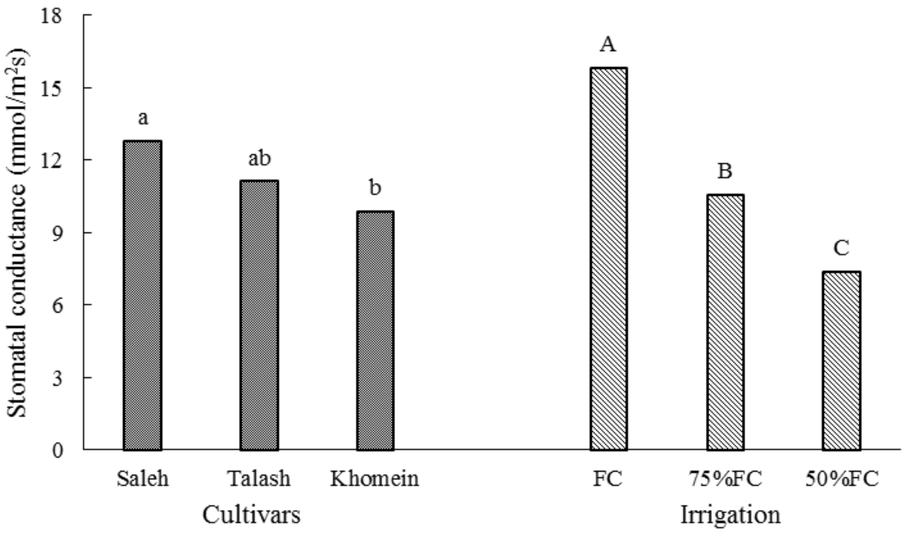
جدول ۴- میانگین‌های محتوی نسبی کلروفیل در مرحله زایشی، محتوای آب نسبی و نشت الکترولیت‌های رژیم‌های آبیاری و ارقام لوبیاچیتی

Table 4. Means of chlorophyll, RWC and electrolyte leakage of bean cultivars and irrigation regimes

صفات	Traits	آبیاری Irrigation			رقم Cultivar		
		FC	75%FC	50%FC	Saleh	Talash	Khomein
کلروفیل (پُرشدن غلاف) (SPAD)	Chlorophyll (pod filling) (SPAD)	32.8a	28.7b	22.5c	29.8a	28.2ab	26.1b
محتوای آب نسبی (%)	RWC (%)	78.1a	70.3b	54.2c	73.0a	67.5ab	62.1b
نشت الکترولیت (%)	Leakage (%)	66.4c	82.8b	91.0a	76.0b	80.2ab	84.0a

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ردیف اختلاف معنی‌داری ندارند (LSD=0.05).

Means with the same letters in each row don’t have significant difference, using LSD, p≤0.05.



شکل ۲- هدایت روزنه‌ای ارقام لوبیاچیتی و رژیم‌های آبیاری

میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری ندارند (LSD=0.05).

حروف بزرگ مربوط به تیمارهای آبیاری و حروف کوچک مربوط به ارقام می‌باشد.

Fig. 2. Stomatal conductance of bean cultivars and irrigation regimes

Means with the same letters do not have significant difference, using LSD, p≤0.05.

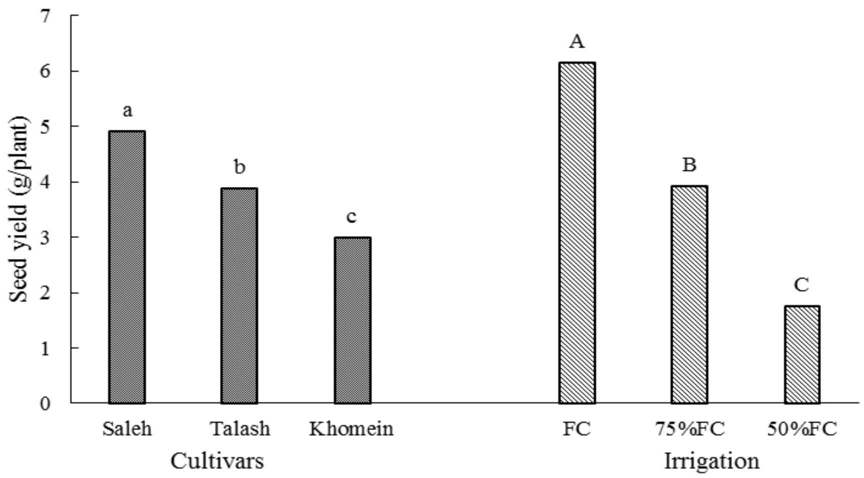
Lower case letters indicates cultivars differences and upper case letters indicate irrigation differences.

پژوهش‌گران در بررسی اثر کم‌آبیاری بر ژنوتیپ‌های لوبیا گزارش کردند محدودیت آب باعث کاهش هدایت روزنه‌ای ژنوتیپ‌های مورد بررسی شد (Karimzadeh *et al.*, 2016). آن‌ها بیان کردند همبستگی مثبت و معنی‌داری بین هدایت روزنه‌ای و عملکرد دانه وجود داشت.

نتایج نشان داد اثر آبیاری و رقم بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). رقم صالح در بین ارقام و آبیاری کامل در بین رژیم‌های آبیاری، بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند (شکل ۳). کاهش آب مصرفی باعث شد عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی متوسط و شدید به‌ترتیب ۳۶/۱درصد و ۷۱/۶درصد نسبت به تیمار بدون تنش خشکی کاهش یابد. همچنین نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر آبیاری، رقم و برهمکنش آبیاری×رقم بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۳). در هر سه رژیم آبیاری عملکرد بیولوژیک رقم صالح از دو ژنوتیپ دیگر بیشتر بود، اما این تفاوت تنها در تیمار تنش خشکی متوسط معنی‌دار بود (شکل ۴). در شرایط تنش خشکی متوسط عملکرد ارقام صالح، تلاش و خمین به‌ترتیب ۱۲/۵درصد، ۳۶/۳درصد و ۴۰/۵درصد نسبت به شرایط بدون تنش خشکی کاهش یافت. مقادیر کاهش عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش خشکی شدید نیز ۴۱درصد، ۳۶درصد و ۴۴درصد به‌ترتیب در ارقام صالح، تلاش و خمین بود. تفاوت در عملکرد بیولوژیک و دانه ارقام لوبیا که تحت تنش رطوبتی متوسط تا شدید قرار داشتند، در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (Rosales-Serna *et al.*, 2002).

کاهش محتوای آب نسبی، هدایت روزنه‌ای و افزایش نشت الکترولیت‌ها در اثر تنش خشکی، باعث آسیب‌رسانی به بافت های گیاه و کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش تولید ماده خشک و عملکرد دانه شده است.

بررسی ضرایب همبستگی نشان داد همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ارتفاع بوته با وزن شاخساره، وزن ریشه، کلروفیل در مرحله زایشی، محتوای آب نسبی و هدایت روزنه‌ای وجود دارد. همچنین همبستگی منفی و معنی‌دار بین ارتفاع بوته با نشت الکترولیت‌ها مشاهده شد (جدول ۵). در واقع بیشتربودن هدایت روزنه‌ای و محتوای آب نسبی نشان‌دهنده بهینه‌تربودن وضعیت آبی گیاه می‌باشد و شرایط آبی بهینه در نهایت باعث افزایش وزن‌خشک ریشه و شاخساره شده است. همچنین مشخص شد همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن دانه با میزان سبزینگی در مرحله پُرشدن غلاف، محتوای آب نسبی و هدایت روزنه‌ای وجود داشت (جدول ۵). در واقع بهتربودن شرایط رطوبتی گیاه و فراهم‌بودن آب برای رشد و تولید در نهایت به تولید وزن دانه بیشتری منجر شده است.



شکل ۱- وزن دانه ارقام لوبیاچیتی و رژیم‌های آبیاری

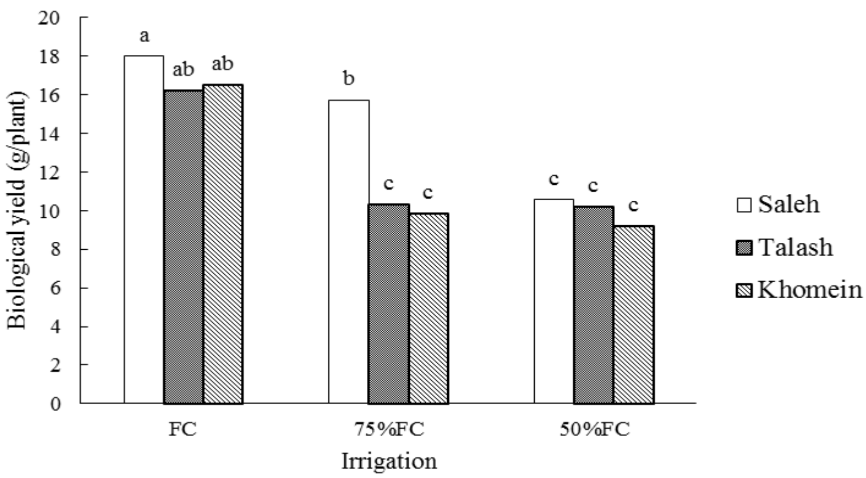
میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری ندارند (LSD=0.05).

حروف بزرگ مربوط به تیمارهای آبیاری و حروف کوچک مربوط به ارقام می‌باشد.

Fig. 3. Seed weight of bean cultivars and irrigation regimes

Means with the same letters do not have significant difference, using LSD, $p \leq 0.05$.

Lower case letters indicates cultivars differences and upper case letters indicate irrigation differences.



شکل ۲- وزن زیست‌توده ارقام لوبیاچیتی و رژیم‌های آبیاری

میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری ندارند (LSD=0.05).

Fig. 4. Biological yield of bean cultivars and irrigation regimes

Means with the same letters do not have significant difference, using LSD, $p \leq 0.05$.

جدول ۵- ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مورد بررسی

Table 5. Pearson correlation coefficient of evaluated traits

	۱) ارتفاع Height	۲) قطر ساقه Stem diameter	۳) وزن شاخساره Shoot weight	۴) وزن ریشه Root weight	۵) نسبت وزن ریشه به شاخساره Root/Shoot weight	۶) کلروفیل (قبل از گل‌دهی) Chlorophyll (pre-flowering)[SPAD]
1	1.00					
2	0.33	1.00				
3	0.67**	0.15	1.00			
4	0.52**	0.07	0.84**	1.00		
5	-0.40*	-0.08	-0.58**	-0.18	1.00	
6	0.10	-0.19	0.44*	0.38	-0.29	1.00
7	0.63**	0.25	0.84**	0.75**	-0.45*	0.38
8	0.62**	0.23	0.88**	0.73**	-0.49*	0.44*
9	-0.52**	-0.15	-0.84**	-0.86**	0.29	-0.21
10	0.57**	0.11	0.87**	0.85**	-0.37	0.28
11	0.68**	0.17	0.93**	0.83**	-0.41*	0.36
12	0.42*	-0.01	0.72**	0.75**	-0.16	0.28

ادامه جدول ۵- Continue oh table 5

	۷) کلروفیل (پُرشدن غلاف) Chlorophyll (pod filling)	۸) محتوای آب نسبی RWC	۹) نشت الکترولیت Leakage	۱۰) هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	۱۱) عملکرد دانه Seed yield	۱۲) عملکرد بیولوژیک Biological yield
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7	1.00					
8	0.74*	1.00				
9	-0.78**	-0.74**	1.00			
10	0.76**	0.81**	-0.95**	1.00		
11	0.82**	0.9**	-0.88**	0.91**	1	
12	0.69**	0.66**	-0.79**	0.8**	0.86**	1

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک‌درصد

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

نتیجه‌گیری

رقم لوبیاچیتی صالح از نظر صفاتی از جملـه محتـوای آب نسبی، کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، وزن زیسـت‌تـوده و وزن دانـه نسبت به دو رقم دیگر برتری داشت. کـاهش نسـبت ریشـه بـه شاخساره آن هم حکایت از درک کمتر تنش خشـکی داشـته و مواد فتوسنتزی کمتری به ریشه اختصاص داده اسـت. بـه نظـر می‌رسد این رقم شرایط محدودیت آب را نسبت به دو رقم دیگر بهتر تحمل کرده باشد. همچنین نشت الکترولیت‌ها نیز در ایـن رقم کمتر از سایر ارقام بود و این امر دلیلی بـر حفـظ تمامیـت غشاء در شرایط تنش خشکی نسبت به دو رقم دیگر مـی‌باشـد. البته کاهش شدید وزن زیست‌توده و وزن دانه نشان می‌دهد که اعمال کم آبیاری سنگین در این گیاه احتمالاً از نظـر اقتصـادی مقرون‌به‌صرفه نباشد.

منابع

1. Agriculture Statistics. 2015. Ministry of Agriculture Press. 167 pages.
2. Aown, M., Raza, S., Saleem, M.F., Anjum, S.A., Khaliq, T., and Wahid, M.A. 2012. Foliar application of potassium under water deficit conditions improved the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). The Journal of Animal and Plant Sciences 22(2): 431-437.
3. Bhatt, R.M., and Srinivasa Rao, N.K. 2005. Influence of pod load on response of okra to water stress. Indian Journal of Plant Physiology 10: 54-59.

4. Bota J., Flexas, J., and Medrano, H. 2004. Is photosynthesis limit by decreased Rubisco activity and RuBP content under progressive water stress? New Phytologist 162: 671-681.
5. Broughton, W.J., Hernandez, G., Blair, M., Beebe, S., Gepts, P., and Vanderleyden, J. 2003: Beans (*Phaseolus* spp.)-model food legumes. Plant and Soil 252: 55-128.
6. Chaves, M.M., Flexas, J., and Pinheiro, C. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of Botany 103: 551-560.
7. Emadi, N., Baloochi, H.R., and Jahanbin, S. 2012. Effect of drought stress on yield, yield components and some of morphological traits of bean genotype COS16. Electronic Journal of Plant Production (In Persian) 5: 1-17.
8. FAOSTAT. 2015. Available at http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC
9. Ganjeali, A., and Bagheri, A. 2011. Evaluation of morphological characteristics of root chickpea (*Cicer arietinum* L.) in response to drought stress. Iranian Journal of Pulses Research 1: 101-110. (In Persian with English Summary).
10. Hashemi Jazi, S.M., and Danesh S.A. 2003. Effect of row spacing and plant distances in row on grain yield and yield components in Chiti bean cv. Talash. Iranian Journal of Crop Science 5(2): 155-162. (In Persian with English Summary).
11. Hayat, S., and Ahmad, A. 2007. Salicylic Acid a Plant Hormone. Springer. P. 97-99.
12. Jalilian, A., Shirvani, A., Nemati, A., and Basati J. 2001. Evaluation of deficit irrigation on production and economy of sugar beet. Sugar Beet 17: 1-14. (In Persian with English Summary).
13. Kafi, M., and Mahdavi Damghani, A. 2007. Mechanisms of Plant Resistance to Environmental Stress. Ferdowsi University of Mashhad Press, 3rd Edition. (In Persian).
14. Karimzadeh, H., Nezami, A., Kafi, M., and Tadayon, M.R. 2016. Investigation of changes in stomatal conductivity, canopy temperature and relative leaf water content of pinto bean genotypes. Crop Physiology Journal 8: 105-120. (In Persian with English Summary).
15. Lawlor, D.W., and Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environment 25: 275-294.
16. Pastenes, C., Pimentel, P., and Lillo, J. 2005. Leaf movements and photoinhibition in relation to water stress in field-grown beans. Journal of Experimental Botany 56(411): 425-433.
17. Ramirez-Vallejo P., and Kelly, J.D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica 99: 127-136.
18. Rastisani, M.S., Lahouti, M., and Gangeali, A. 2014. Effects of drought sress on morpho-physiological and chlorophyll fluorescence of seedlings of red beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Iranian Journal of Pulse Crops 5(1): 103-116. (In Persian with English Summary).
19. Rodriguez, L. 2006. Drougnt and drought stress on south Texas landscape plants. San Antonio Express News. Avilable at (http: bexar – Tx. T. Tamu. edu).
20. Rosales, M.A., Ocampo, E., Rodríguez-Valentín, R., Olvera-Carrillo, Y., Acosta-Gallegos, J., and Covarrubias, A.A. 2012. Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. Plant Physiology and Biochemistry 56: 24-34.
21. Sairam, R.K. 1994. Effect of moisture stress on physiological activities of two contrasting wheat genotypes. Indian Journal of Experimental Biology 32: 584-593.
22. Sairam, R.K., and Saxena, D.C. 2000. Oxidative stress and antioxidant in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. Journal of Agronomy and Crop Science 184: 55-61.
23. Sairam, R.K., and Srivastava, G.C. 2002. Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long-term salt stress. Plant Science 162: 897-904.
24. Salehpour, M., Ebadi, A., Izadi, M., and Jamaati-e-Somarin Sh. 2009. Evaluation of water stress and nitrogen fertilizer effects on relative water content, membrane stability index, chlorophyll and some other traits of lentils (*Lens culinaris* L.) under hydroponics conditions. Research Journal of Environmental Science 3(1): 103-109.
25. Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carver, B.F., and Mornhinweg, D.W. 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. Crop Science 28: 526-531.
26. Sikuku P.A., Netondo, G.W., Onyango, J.C., and Musyimi, D.M. 2010. Effects of water deficit on physiology and morphology of three varieties of NERICA rain fed rice (*Oryza sativa* L.). ARPN Journal of Agricultural and Biological Science 5: 23-28.
27. Smart, R.E., and Bingham, G.E., 1974. Rapid estimates of relative water content. Plant Physiology 53(2): 258-260.

28. Turkan, I., Melike, B., Ozdemir, F., and Koca, H. 2005. Differential response of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. Plant Science 168: 223-231.
29. Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L., and Gasparikova, O., 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. Plant, Soil and Environment 52(4): 186-191.
30. Yadav, R.S., and Bhushan, C. 2001. Effect of moisture stress on growth and yield in rice genotype. Indian Journal of Agricultural Research 2: 104-107.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 10, No. 1, 2019, p. 114-125 (Research Article)

The effect of drought stress on some of morphological and physiological traits of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes

Ghalandari[1], S., Kafi[2*], M., Goldanii[3], M. & Bagheri[4], A.

1. PhD. Students, Agrotechnology Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, somaye.ghalandari@yahoo.com
2. Professor, Department of Agrotechnology, College of Agriculture & Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
3. Associate Professor, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, goldani@um.ac.ir
4. Islamic Azad University, Eghlid Branch, Iran

Received: 25 June 2017
Accepted: 14 August 2017

DOI: 10.22067/ijpr.v10i1.64836

Introduction

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the most important food legume and is an important source of calories, protein, dietary fiber, and minerals for human nutrition. In addition, it provides an essential source of protein for more than 300 million people worldwide including Iran. Drought is one of the most important abiotic stress factors that limits plant growth and results in significant seed yield reductions in around 60% of global bean production areas. Acclimation to water deficit in crops is the result of a series of integrated events. Upon exposure to drought stress, plants exhibit a wide range of responses at the whole-plant, cellular and molecular levels. At the whole-plant level, the effect of drought stress is usually perceived as a decrease in photosynthesis and growth, which is associated with alterations in carbon and nitrogen metabolisms. The reduction in the photosynthetic activity is due to several coordinated events, such as stomatal closure, chlorophylls cleavage and the reduced activity of photosynthetic enzymes. Stomatal closure is probably the most important factor controlling carbon metabolism, but the relative role of other limitations on photosynthesis depends on the severity of water deficit. The aim of this experiment was to determine the effect of different moisture stress levels on morph-physiological attributes of three common bean genotypes.

Materials & Methods

In order to evaluate the effect of moisture stress on some morphological and physiological traits of common bean genotypes, a greenhouse experiment was conducted as factorial design. The experimental factors included irrigation (100% FC; as control, 75% FC; as moderate drought stress and 50% FC; as severe drought stress) and three common bean cultivars (Saleh, Talash and Khomein). The experiment was performed at FUM (Ferdowsi University of Mashhad) glass house in 2015 with three replications. Pots (diameter 20 cm, height 30 cm) were filled with ten Kg of loamy soil and five seeds were planted in each of them. After emergence and establishment of seedlings, two plants were remained in each pot. Irrigation treatments were started at 4^{th} leaf stage and continued up to the end of experiment. Plant height, stem diameter, shoot and root weight, root/shoot ratio, greenness, leaf relative water content, electrolyte leakage, stomatal conductance, biological and seed weight were measured. Data were analyzed using SAS software and least significant difference test (LSD) was used for mean comparisons at 0.05 level in MSTATC software.

Results & Discussion

The effect of Irrigation and genotype on plant height, shoot and root weight, chlorophyll at reproductive stage, relative water content, electrolyte leakage and stomatal conductance were significant. Also the interaction effect of irrigation×genotype on root/shoot ratio was significant. Drought stress decreased plant height by 8% and 21.4% in moderate and severe drought stress respectively. Shoot weight decreased by

***Corresponding Author:** m.kafi@um.ac.ir

30.1% (moderate drought stress) and 70.1% (severe drought stress) and root weight decreased by 48.9% (moderate drought stress) and 73.8% (severe drought stress) compared to control. The root/shoot ratio decreased under moderate drought stress in all genotypes but under severe drought stress, root/shoot ratio were increased in Talash and Khomein genotypes. Drought stress decreased chlorophyll content, so that under moderate and severe drought stress chlorophyll content decreased by 12.4% and 31.3%, respectively compare to control. Among genotypes, Saleh accumulated higher leaf chlorophyll content. The relative water content and stomatal conductance declined under drought stress treatments but electrolyte leakage was increased under drought stress treatments. Relative water content decreased by 9.9% and 30.7% under moderate and severe drought stress conditions, respectively compared to control. Under moderate and severe drought stress conditions stomatal conductance reduced by 33.3% and 53.3% respectively compared to control. Electrolyte leakage increased by 24.7% under moderate drought stress condition and 37% under severe drought stress condition compared to control. Also higher relative water content, stomatal conductance, and lower electrolyte leakage was observed in Saleh genotype. The highest seed yield among cultivars was found in Saleh and the highest seed weight was observed in complete irrigation regime.

Conclusion

Based on our results, Saleh genotype produced more seed, biomass, relative water content, chlorophyll, stomatal conductance and lower electron leakage, therefore, it seems that this genotype is more tolerant to moisture stress. However, generally, bean plant seems susceptible to drought, and it might not be feasible to impose high levels of drought stress on this crop.

Keywords: Deficit irrigation, Electrolyte leakage, Relative water content, Stomatal conductance